



단결정 성장용 AlN 분말 기술 현황

글 _ 김영희
한국세라믹기술원

1. 단결정성장용 AlN 분말 개요

AlN 단결정은 단파장 발광소자와 고온/고출력/고속 전자소자의 기판 소재로 사용이 가능한 새로운 반도체 재료로 AlN 기판은 대부분의 기존 반도체 소재보다 높은 에너지 밴드갭, 열전도도와 고온안정성을 가진다. 최근 들어 AlN 단결정을 이용한 LD/LED와 같은 광전소자와 고온, 고출력 전자소자 구현이 가능하여 제품시장이 증가되고 있는 추세이다.¹⁻¹³⁾ AlN 기판으로 UV LED 소자를 제조할 경우 결함, 격자부정합, 불순물의 영향이 낮아 UV 발광효율을 10배 이상 높일 수 있다. 또한 전력소자의 성능도 사파이어가 구현할 수 없는 고전압, 고주파 대역이 가능하고 사파이어 대비 5배 우수한 열전도율과 2배 이상의 파괴인성, 실리콘 (Si)과 유사한 열팽창계수 및 우수한 내부식성으로 AlN 부품의 응용범위가 확대되고 있다 (Fig. 1).

2015년 자외선 LED 광원 시장은 6500억 원이며, 2020년에는 약 3조 6천 억으로 전망되는 거대한 시장으로 더

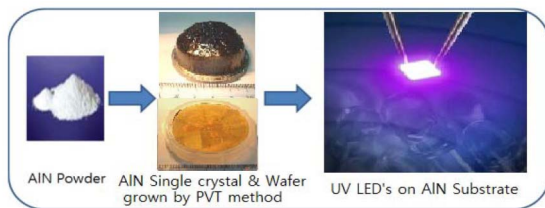


Fig. 1. AlN 분말과 PVT 방법으로 제조한 2 인치 단결정 및 UV LED 기판으로 응용.

불어 이를 이용한 응용시장은 폭발적으로 성장 할 것으로 예측된다. 우리나라 LED 산업은 가시광 LED를 중심으로 한 백색 LED 산업이 주를 이루고 있어, 파장영역이 200~400 nm에 해당하는 자외선 LED 광원제조기술 및 응용기술에 대한 개발 및 연구는 현저히 부족한 실정이다.

자외선 LED는 발광 파장에 따라 자외선 A 영역 (315~400 nm)은 주로 산업용 경화기, 위폐감별기 등에 사용되며, 자외선 B 영역 (280~315 nm)은 의료/바이오분야에서의 치료기 및 분석기기, 비타민 D 합성 등에 주로 이용되며, 자외선 C 영역 (280~200 nm)은 살균/정화/정수등 환경 분야에 많이 사용되고 있다. 또한 기존 mercury UV 램프를 대신할 낮은 소비전력, 장수명화의 에코 조명으로 AlN 웨이퍼를 사용한 UV LED가 폭발적으로 확대되고 있으며, 조명용 LED의 고성능화와 같이 자외선 (UV) 영역의 LED도 고효율화, 고출력화가 진전되고 이의 산업이 용도 확산되는 추세이다. AlN은 이론 열전도도가 알루미늄보다 10배 이상이고 전기절연성이 우수하고 열팽창 계수가 알루미늄보다 작고 실리콘 반도체와 비슷하고 기계적 강도도 우수한 특징이 있어 고열전도 세라믹스의 반도체 기판이나 부품에 응용이 가능하다. 하지만 많은 응용 및 잠재시장이 있음에도 불구하고 현재 UV LED 광원은 AlN계 물질사용에 따른 고품질 박막성장의 어려움, 소자제작 공정기술 미개발 및 자외선 LED용 패키지 소재 부재 등으로 인한 자외선 LED 소자의 낮은 광출력으로 인하여 시장진입에 어려움이 있다.



질화알루미늄 단결정 성장방법은 승화법 (PVT, Sublimation method), 용액성장법 (Solution growth method), 플럭스법 (Flux method) 등에 의한 단결정 성장법이 연구되고 있으며 승화법에 의한 단결정 성장 방법이 상용화에 가장 근접하고 있다. 이 방법을 사용하여 Crystal IS Inc., Fairfield Crystal Technology(미), Hexatech Inc.(미), DOWA(일), Nitride Crystal Inc.(미) 등에서 2 inch AlN wafer 상용화를 시작하였다.

AlN 단결정 성장용 입도가 제어된 고순도 분말은 세계적으로 기술 개발 초기 단계이며 대부분 AlN 단결정 제조회사가 독자적으로 제조하여 자사의 단결정제조에 사용하는 정도이다. 단결정 성장용 초고순도 AlN 분말 시장을 선점하기 위하여 원료 및 분말 제조 기술 확보가 반드시 필요하다.

2. AlN 분말 제조 방법

AlN 분말은 1877년도에 처음 실험실적으로 합성되었으나 1980년도까지는 학문적으로만 연구되고 있었다. AlN은 Wurtzite 결정구조를 가지며 상압에서 2500°C에서 Al gas와 N₂ gas로 분해가 일어난다. 순수한 AlN 분말은 흰색을 띠지만 카본 불순물을 함유하는 경우에는 연한 회색을 띤다. AlN은 우수한 열전도도 (소결체: 70-210 W/m·K, 단결정: 285 W/m·K), 우수한 전기절연성 (14×10¹³ Ω·cm), 안정적인 열팽창계수 (4×10⁻⁶/K), 우수한 기계적강도 (430 MPa)를 보유하고 있어 1980년도 후반부터는 고열전도 세라믹스가 적용되는 반도체용 기판이나 부품, 모듈에 널리 응용되고 있다.^{14, 15)}

AlN 분말 제조방법은 열탄소환원법, 직접질화법, 화학기상법등으로 알루미늄, 알루미늄, 염화알루미늄을 원재료로 하여 제조되고 있으며¹⁴⁻³²⁾ 상용화된 AlN 분말은 현재는 주로 소결체용, 필러용이 대부분이다.

2.1. 열탄소환원법

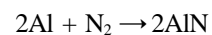
고순도 알루미늄과 탄소를 혼합한 후 질소 중에서 1200°C 이상에서 가열하여 아래 반응 식과 같은 열탄소환원을 유도하고 환원된 알루미늄을 곧바로 질화시키는

방법으로 충분한 반응을 위하여 화학양론적 보다 다소 과량의 카본을 사용하기 때문에 항상 반응 후 카본 불순물이 존재한다는 단점을 가지고 있다. 열탄소환원법으로 반응을 유도하기 위해서는 1200°C-1850°C 정도의 고온과 3-48시간정도의 반응시간이 요구된다. 탄소 공급원으로 탄소대신 탄화수소계 가스를 사용하기도 하며 반응 후 AlN 분말 내에 잔류하는 탄소는 대기 중에서 600°C-900°C에서 산화시켜 제거한다. 탄소성분을 대기 중에서 가열하여 제거 하는 동안 분말 표면이 산화될 수 있다. Tokuyama(일)에서는 열탄소환원법에 의해 제조된 AlN 분말에 탈탄 공정을 도입하여 고순도화 하고 있으나 이 방법은 고순도 알루미늄을 사용하여야 하기 때문에 AlN 분말 생산단가가 높아지는 문제점 보유하고 있다.



2.2. SHS법 (Self Propagating High Temperature Method)

직접질화법은 제조방법이 간단하고 제조비용이 낮다는 장점이 있으나, 분말 내에 산소함유량이 많고, 입도 분포도 불균일하여 다른 분말에 비해 상대적으로 소결성 및 열전도도가 낮다고 알려져 있다. SHS법은 자전반응이 일어나기 위해 전기적으로 800°C 이상 가열하여 금속 알루미늄이 자체적으로 직접질화반응에 의하여 발열반응하여 2000-2500°C의 고온에서 아래 반응식과 같이 AlN 분말을 합성하게 된다. 이 자전반응은 2000-2500°C 고온에서 합성되므로 조립자들이 합성되고 이들을 합성 후에 건식 분쇄하여 미립자로 제조하기 때문에 고순도 AlN 분말 제조에 많은 어려움이 있다. 이 공정에서는 초기 출발물질인 금속 알루미늄에 함유된 산소량에 따라 순도가 결정되고 분쇄 분급공정중에 순도저하가 문제점이다. 최근 연구에서는 잔존 산소량을 저하시키기 위해 카본을 첨가하는 연구가 진행되고 있다.



2.3. 화학기상합성법 (Chemical Vapor Synthesis)



기상법의 장점은 나노분말 (100 nm 이하) 제조가 용이하고 고순도의 분말제조가 가능한 것이다. 일반적인 합성반응식은 아래와 같으며 합성온도는 800°C 이상에서 가능하다.



염화질화물등 기화점이 낮은 출발원료를 암모니아 또는 질소 분위기에서 나노급 질화알루미늄을 합성가능하나 대량생산이 어렵다는 단점 보유한다.

2.4. 플라즈마합성법

플라즈마를 열원으로 금속 알루미늄을 기화시켜 암모니아나 질소분위기 중에서 질화알루미늄을 합성하는 방법으로 고가의 플라즈마 장치를 활용해야 하는 단점이 있으나 최근 15,000°C 수소플라즈마 공정을 이용해 고순도의 나노분말을 연속적으로 대량 생산할 수 있는 기술 개발에 성공하여 생산속도가 빠르고 분산이 잘되어 있는 고순도의 나노분말 제조가 용이하며 유독성 공정 부산물이 발생하지 않는 환경 친화적 공정으로 평가되고 있다. 이 기술은 15,000°C의 수소플라즈마를 이용해 원료물질을 증기화한 뒤 저온에서 응축시킨 ‘플라즈마아크방전공정’을 통해 고순도 나노분말을 대량생산하는 것으로, 균질한 나노분말 제조는 물론 모든 종류의 금속 및 세라믹 나노분말의 제조가 가능하다고 한다.

3. 고순도 AlN 분말 시장 현황

AlN 분말시장 규모는 전 세계 생산량이 약 430 톤/년 (Fuji Chimera, 2007)이며 Table 1에서 보여주는 것과 같이 일본이 70% 이상을 독점하고 있다. 주요 생산기업으로는 Tokuyama(일), 동양알루미늄(일), 미츠이화학

Table 1. AlN 분말 시장 규모 (판매량 : ton, 판매금액 : 백만원)

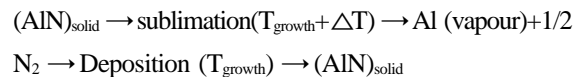
구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
판매량	420	460	490	400	420	450	480
판매금액	3,420	3,750	4,000	3,250	3,400	3,650	3,890

참고자료: 2009 후지 키메라

(일), H.C.Starck(독), Shineso(중), American Elements(미) 등이 있다. 전 세계 AlN 생산량 중 일본이 355톤 (84.5%), 기타국가가 65톤 (15.5%)을 생산하고 있는 것으로 조사되었다. 기업별 Tokuyama(일)가 67%를 생산하고 있다. 국내에서는 생산량이 많지 않으나 대한 세라믹스에서 SHS법에 의해 120톤/년 생산을 하고 있다.^{14, 15)}

4. PVT 방법을 이용한 AlN 단결정 성장 현황

PVT 방법은 고품질 단결정을 제조하는데 적합한 대표적 방법으로 텅스텐카아바이드 또는 탄탈륨카아바이드 도가니 안에서 고순도 질화알루미늄 분말을 넣고 온도를 2000°C 이상으로 올려 승화시킨 후 도가니 상부에 장착된 종자결정에 재결정화가 이루어져 장축으로 결정성장이 이루어지는데 이때 질화알루미늄 분말의 균일한 승화 속도 및 순도는 성장된 단결정의 품질에 큰 영향을 준다.



PVT 방법으로 단결정을 성장시키는 경우 원료 분말의 균일한 승화속도를 제어하기 위하여 원료분말의 입도는 100 μm 이상의 크고 균일한 분말이 요구되어진다. 따라서 단결정 성장용 질화알루미늄 분말의 입도 및 순도제어는 고품위 단결정을 얻기 위하여 매우 중요하다. 단결정 회사에서는 고순도 AlN 분말을 얻기 위하여 자체적으로 승화-재결정 방법을 통하여 분말을 수 mm 크기로 성장시켜 사용하고 있으며 분말 packing 후 Hole을 만들어 permeability 높여 승화속도를 제어 하는 경우도 있다.

AlN 분말은 상온에서도 오랜 시간이 경과하면 산화가 일어나게 되고 표면에 5-10 nm 두께의 산화막이 형성된다. 따라서 상용화된 AlN 분말 평균적으로 1.5% 이상의 Oxygen impurity를 함유하고 있다 (Table 2). Oxygen impurity는 AlON을 형성하여 AlN 보다 낮은 온도에서 승화하여 Seed 표면을 오염시키고 AlN 결정의 Stacking faults를 야기하게 된다.¹³⁾

고품위 단결정 성장에 문제를 야기하는 또 다른 원인



Table 2. 상용화된 AlN 분말의 분석 결과 (단위 %)

Grade	H.C. Starck (독일)			Cotronics (미국)	중국	Tokuyama(일본)	국내 (CS)	
	AT	B	C			H		
순도				99.9	98.5			
입자 크기	11.68	2.56	0.8 - 1.8	< 45	< 45	1.13		
불순물	N	32.7	33.26	33.26		33	24.3	
	O	1.4	1.1	1.1		0.7 - 0.9	0.8	
	Fe	0.044	0.0018	0.0018	0.05	0.015	0.002	
	Ca						0.021	
	C	0.03	0.02	0.02			0.025	0.011
	Si	-	-	-	0.05		0.004	

들로는 도가니로 사용되는 텅스텐 카바이드 또는 탄탈륨 카바이드 도가니를 완벽히 세척하지 않고 재사용하였을 경우 Residue 때문에 불균일한 핵성장이 이루어져 단결정의 품질을 떨어뜨린다. 또한 도가니 내부의 불균일한 온도 구배 역시 단결정의 품질을 떨어뜨리는 중요한 요인이 된다.¹³⁾

AlN 단결정 성장에 가장 큰 문제를 야기하는 impurities들은 C, B, Si로 AlN 결정구조 내에 Al site를 치환하게 되며 Optical properties를 저해하는 요인으로 알려져 있다.⁸⁾ 순수한 AlN 단결정을 무색이며 투명하나 AlN 단결정내부에 존재하는 isolated Al vacancies는 AlN 단결정이 노란색을 띠게 하는 원인이 된다. Fe 불순물을 함유하는 경우에는 오렌지 색깔을 나타내기도 한다.⁸⁾

Table 2에 고순도 AlN 상용분말의 화학분석 결과를 나타내었다. Table 2에서 보는바와 같이 대부분의 불순물은 O, C, Si이며 그리고 소량의 Fe를 함유하고 있다. 독일의 H.C. Starck사에서는 입도가 10 μm 미만의 AlN 분말을 직접질화방법으로 제조하여 판매하고 있다. 일본의 Tokuyama사에서는 AlN 분말과 100 μm 크기의 granule을 판매하고 있다 (Fig. 2).

Crystal-N사에서는 재결정방법을 이용하여 AlN 분말을 정제하여 O < 50 ppm, C < 20 ppm, Si < 15 ppm, W < 5 ppm 이하인 단결정 성장용 0.1~1 mm 크기의 초고순도 AlN 분말을 판매하고 있다.³³⁾

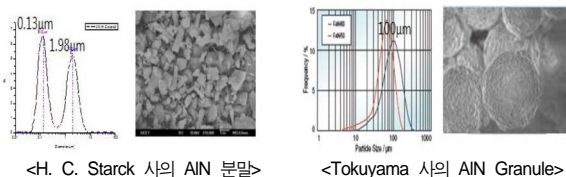


Fig. 2. 상용화된 AlN 분말 및 Granule 입도 및 SEM 사진.

PVT 방법은 고순도 질화알루미늄 분말을 넣고 온도를 2000°C 이상으로 올려 승화시켜 단결정을 성장시키는데 반응성이 매우 강한 Al vapor가 생성되므로 고온에서 화학적 안정성이 우수한 W, Ta, Nb, Zr 등의 refractory transition metals 도가니들이 사용가능하며 텅스텐 또는 탄탈륨카바이드 도가니가 주로 사용되고 있다. 그렇지라도 200 시간 이상 장시간 사용이 가능한 도가니를 얻는 것은 매우 어렵다. Nitride Crystal Inc.(미)에서는 탄탈륨 foil을 C/N 혼합 가스 하에서 annealing하여 1000 시간 이상 사용이 가능한 도가니를 만들어 AlN 단결정 제조에 이용하고 있다 (Fig. 3).



Fig. 3. AlN 단결정 성장용 TaC crucible 및 TaC in graphite jacket.¹²⁾

5. PVT 방법을 이용한 AlN 단결정 품질 분석

PVT 방법을 이용해서 AlN 단결정을 성장시키는 경우 별도의 seed를 사용하지 않는 self seeding growth 또는 SiC, AlN 등의 웨이퍼를 seed로 사용하는 intentional seeding growth 방법이 있다. 그중 쉽게 구할 수 있는 SiC 웨이퍼를 seed로 사용하는 경우가 많은데 이러한 경우에 SiC 웨이퍼로부터 고온에서 Si가 AlN 단결정으로 diffusion되어 성장시킨 단결정의 resistivity가 10⁵ Ω·cm로 순수한 AlN 단결정 10¹¹-10¹³ Ω·cm 보다 낮아지는 문제점을 가지고 있다. SiC을 사용하여 키운 AlN 단결정을 seed로 여러 번 재활용하는 경우 resistivity가 3 x 10¹¹-9 x 10¹¹ Ω·cm까지 증가시킬 수 있다. Fig. 4는 PVT 방법으로 성장시킨 AlN 단결정 및 웨이퍼를 보여주며 Fig. 5는 2인치 AlN 웨이퍼의 X-ray rocking curve를 나타내었으며 SiC 웨이퍼를 seed로 사용해서 성장시킨 2인치 AlN 단결정의 FWHM은 약 60-150 arcsec 정도이다.

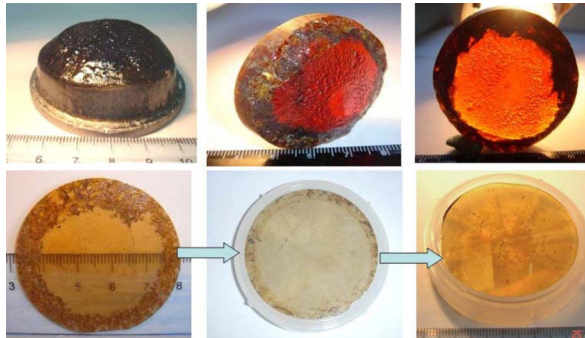


Fig. 4. PVT 방법으로 성장시킨 AlN 단결정 및 웨이퍼.¹²⁾

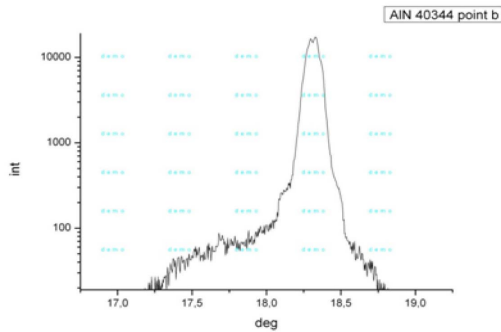


Fig. 5. PVT 방법으로 성장시킨 2인치 AlN 웨이퍼의 X-ray rocking curve.¹²⁾

6. 결론

단결정 성장용, 반도체, LED 및 태양광산업 분야 등에 초고순도 SiC, AlN, GaN 등의 비산화물계 세라믹 분말이 필수적으로 요구되고 있으나 전 세계적으로 몇몇의 선진국 회사만이 기술을 독점하고 있는 상황에서 미래 거대시장을 선점하기 위하여 기초원료소재의 국내 상용화 개발이 요구되고 있다. 미국과 일본에서 AlN 단결정 개발 및 시제품 판매를 진행 중이고, 향후 UV LEDs, lasers, high RF transistors 등으로 응용가능성이 확대되고 있어 고순도 AlN 분말의 개발은 국내 소재 산업의 활성화뿐만 아니라 미래 경쟁력 제고 및 세계시장 선점 측면에서 중요하다고 할 것이다.

참고문헌

1. S. Y. Karpov, D. V. Zimina, Y. N. Makarov, E. N. Mokhov, A. D. Roenkov, M. G. Ramm, and Y. A.

Vodakov, "Sublimation Growth of AlN in Vacuum and in a Gas Atmosphere," *Phys. Status Solidi A*, **176** [1] 435-38 (1999).

2. Y. G. Cao, X. L. Chen, Y. C. Lan, J. Y. Lia, Y. P. Xua, T. Xua, Q. L. Liua, and J. K. Liangb, "Blue Emission and Raman Scattering Spectrum from AlN Nanocrystalline Powders," *J. Cryst. Growth*, **213** [1-2] 198-202 (2000).

3. V. Noveski, R. Schlessner, S. Mahajan, S. Beaudoin, and Z. Sitar, "Mass Transfer in AlN Crystal Growth at High Temperatures," *J. Cryst. Growth*, **264** [1-3] 369-78 (2004).

4. R. Schlessner, R. Dalmau, and Z. Sitar, "Seeded Growth of AlN Bulk Single Crystals by Sublimation," *J. Cryst. Growth*, **241** [4] 416-20 (2002).

5. R. Schlessner and Z. Sitar, "Growth of Bulk AlN Crystals by Vaporization of Aluminum in a Nitrogen Atmosphere," *J. Cryst. Growth*, **234** 349-53 (2002).

6. T. Mori, T. Kobayashi, Y. Kawanishi, H. Kominami, Y. Nakanishi, and K. Hara, "Fabrication of AlN Single Crystal Particles by a Chemical Vapor Method Using Aluminium Chloride," *Phys. Status Solidi C*, **8** [5] 1459-62 (2011).

7. N. B. Singh, A. Berghmans, H. Zhang, T. Wait, R. C. Clarke, J. Zingaro, and J. C. Golombek, "Physical Vapor Transport Growth of Large AlN Crystals," *J. Cryst. Growth*, **250** 107-12 (2003).

8. M. Strassburg, J. Senawiratne, N. Dietz, N. Dietz, U. Haboek, A. Hoffmann, V. Noveski, R. Dalmau, R. Schlessner, and Z. Sitar, "The Growth and Optical Properties of Large, High-quality AlN Single Crystals," *J. Appl. Phys.*, **96** [10] 5870-76 (2004).

9. H. Kamata, Y. Ishii, T. Mabuchi, K. Naoe, S. Ajimura, and K. Sanada, Single Crystal Growth of Aluminum Nitride Fujikura Technical Review, 2009.

10. V. F. de Almeida and J. C. Rojo, "Simulation of Transport Phenomena in Aluminum Nitride Single-Crystal Growth," Technical Report, 2002.

11. Z. Sitar, R. Schlessner, R. Dalmau, B. Raghathamachar, and M. Dudley, "Growth of AlN Crystals by Vaporization of Al and Sublimation of AlN Powder," in Proc. 21st Century COE Joint Workshop on Bulk Nitrides, pp. 41-45, IPAP Conf. Series 4, 2003.

12. O. V. Avdeev, T. Yu. Chemekova, E. N. Mokhov, S. S. Nagalyuk, H. Helava, M. G. Ramm, A. S. Segal, A. I. Zhmakin, and Yu.N. Makarov, "Development of 2" AlN Substrates Using SiC Seeds, Modern



- Aspects of Bulk Crystal and Thin Film Preparation," Ed. by N. Kolesnikov, ISBN: 978-953-307-610-2, InTech, DOI: 10.5772/29853 (2012).
13. V. F. de Almeida and J. Carlos Rojo, "Simulation of Transport Phenomena in Aluminum Nitride Single-Crystal Growth," Technical Report ORNL/TM-2002/64.
 14. 강원테크노파크 정책기획단, *Journal of Regional Innovation Policy*, **7** [2] 3-30 (2011).
 15. 피재환, 이종근, 김수룡, "질화알루미늄(AlN) 분말 및 응용제품 시장현황 및 기술동향," *Ceramist*, **12** [2] 38-45 (2009).
 16. G. Demazeau, "Solvothermal Reactions: An Original Route for the Synthesis of Novel Materials," *J. Mater. Sci.*, **43** 2104-14 (2008).
 17. B. C. Di Lello, F. J. Moura, and I. G. Solórzano, "Synthesis and Characterization of Nano-scale Aluminum Nitride Produced from Vapor Phase," *Mater. Sci. Eng.*, **15** 67-9 (2001).
 18. W.-S. Jung and S.-K. Ahn, "Synthesis of Aluminium Nitride by the Reaction of Aluminium Sulfide with Ammonia," *Mater. Lett.*, **43** [1-2] 53-56 (2000).
 19. J. Kuang, C. Zhang, X. Zhou, and S. Wang, "Synthesis of High Thermal Conductivity Nano-scale Aluminum Nitride by a New Carbothermal Reduction Method from Combustion Precursor," *J. Cryst. Growth*, **256** 288-91 (2003).
 20. Y. Mori and Y. Sugahara, "One-pot Synthesis of Soluble Precursors Possessing Both Al-N and B-N Backbones and their Pyrolysis," *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **79** 1681-87 (2006).
 21. M. Oliveira, S. Olhero, J. Rocha, and J. M. F. Ferreira, "Controlling Hydrolysis and Dispersion of AlN Powders in Aqueous Media," *J. Colloid Interface Sci.*, **261** 456-63 (2003).
 22. J. Qiu, Y. Hotta, K. Watari, K. Mitsuishi, and M. Yamazaki, "Low-temperature Sintering Behavior of the Nano-sized AlN Powder Achieved by Super-fine Grinding Mill with Y₂O₃ and CaO Additives," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **26** 385-90 (2006).
 23. S. Schulz, T. Bauer, W. Hoffbauer, J. S. Gunnec, M. Doerrd, C. M. Mariand, and W. Assenmachere, "Stepwise Conversion of a Single Source Precursor into Crystalline AlN by Transamination Reaction," *J. Solid State Chem.*, **181** [3] 530-38 (2008).
 24. T. Suehiro, J. Tatami, T. Meguro, S. Matsuo, and K. Komeya, "Synthesis of Spherical AlN Particles by Gas-reduction-nitridation Method," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **22** 521-26 (2002).
 25. M.-C. Wang, N.-C. Wu, M.-S. Tasi, and H.-S. Liu, "Preparation and Characterization of AlN Powders in the AlCl₃-NH₃-N₂ System," *J. Cryst. Growth*, **216** 69-79 (2000).
 26. B. G. Willis and K. F. Jensen, "Gas-phase Reaction Pathways of Aluminum Organometallic Compounds with Dimethylaluminum Hydride and Alane as Model Systems," *J. Phys. Chem. A*, **104** 7881-91 (2000).
 27. N.-C. Wu, M.-S. Tsai, M.-C. Wang, and H.-S. Liu, "Morphology and Formation Mechanism of Aluminum Nitride Nanocrystals Synthesized by Chemical Vapor Deposition," *J. Cryst. Growth*, **208** [1-4] 189-96 (2000).
 28. Z.-G. Yang and L. L. Shaw, "Synthesis of Nanocrystalline SiC at Ambient Temperature through High Energy Reaction Milling," *Nanostruct. Mater.*, **7** [8] 873-86 (1996).
 29. Y. Zhang and J. G. P. Binner, "Characterisation of a Surface Treated AlN Powder in Aqueous Media," *Int. J. Inorg. Mater.*, **1** 219-27 (1999).
 30. R. Mohamed and M. Yohinari, "Self-Propagating High-Temperature Synthesis of AlN Nanostructures and Their Sintering Properties Transactions of JWRI," **35** [2] 43-46 (2006).
 31. Y. Zhang, "Effect of Surfactant on Depressing the Hydrolysis Process for Aluminum Nitride Powder," *Mater. Res. Bull.*, **37** [8] 2393-400 (2002).
 32. J. Kuang, C. Zhang, X. Zhou, and S. Wang, "Influence of Processing Parameters on Synthesis of Nanosized AlN Powders," *J. Cryst. Growth*, **263** 12-20 (2004).
 33. http://www.crystal-n.com/Products/alu_nitride_powder.html

◎◎ 김영희



- 1981년 고려대학교 화학과 학사
- 1983년 고려대학교 화학과 석사
- 1989년 Polytechnic Institute of New York University 박사
- 2000년 한국세라믹기술원 에너지소재센터 수석 연구원